



PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Lionel Herve et al.
Serial No.: 10/612,099
Filed: July 2, 2003
Title: "METHOD FOR RADIOLOGICAL EXAMINATION OF AN OBJECT"
Docket No.: 35837

LETTER

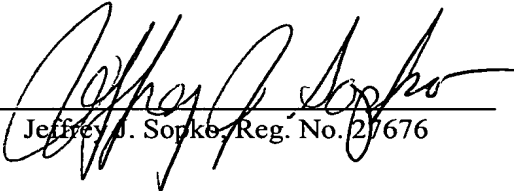
Commissioner of Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir/Madam:

Enclosed is a certified copy of French Patent Application No. 0208513, filed
July 5, 2002; the priority of which has been claimed in the above-identified application.

Respectfully submitted,

PEARNE & GORDON LLP


Jeffrey J. Sopko, Reg. No. 27676

1801 East 9th Street
Suite 1200
Cleveland, Ohio 44114-3108
(216) 579-1700

January 30, 2004

I hereby certify that this correspondence is being deposited
with the United States Postal Service as first class mail in an
envelope addressed to: Commissioner of Patents, P.O. Box
1450, Alexandria, Va. 22313-1450 on the date indicated below.

Jeffrey J. Sopko

Name of Attorney for Applicant(s)

01/30/2004

Date


Signature of Attorney



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 08 JAN. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 540 W / 260899

REMISE DES PIÈCES DATE 05/07/2002 LIEU 93 N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 0208513 05 JUL. 2002		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS 422-5/S002	
Vos références pour ce dossier (facultatif) B 14155.3 JCI DD 2358			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> N° _____ Date ____ / ____ / ____ <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i> N° _____ Date ____ / ____ / ____			
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i> N° _____ Date ____ / ____ / ____			
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCÉDE D'EXAMEN RADIOLOGIQUE MULTI-ENERGIE D'UN OBJET			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____ / ____ / ____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____ / ____ / ____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____ / ____ / ____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	
Prénoms			
Forme juridique		Etablissement Public de Caractère Scientifique, Technique et Industriel	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	31-33, rue de la Fédération	
	Code postal et ville	75752	PARIS 15ème
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES DATE 05/07/2022 LIEU 99 N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI 0208513		DB 540 W / 260899
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		B 14155.3 JCI DD 2358		
6 MANDATAIRE				
Nom		LEHU		
Prénom		Jean		
Cabinet ou Société		BREVATOME 422-5/S002		
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		PG 7068		
Adresse	Rue	3, rue du Docteur Lancereaux		
	Code postal et ville	75008	PARIS	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 53 83 94 00		
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01 45 63 83 33		
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		brevets.patents@brevaalex.com		
7 INVENTEUR (S)				
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée		
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)		
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (<i>joindre un avis de non-imposition</i>) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (<i>joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence</i>) :		
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes				
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) J. LEHU		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI M. BLANCANEUX		

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

¹
multi-énergie
V

PROCEDE D'EXAMEN RADIOLOGIQUE D'UN OBJET, ~~COMPRENANT UN~~
~~ETALONNAGE DES PROPRIETES D'ATTENUATION DU RAYONNEMENT~~

DESCRIPTION

5

Cette invention concerne un procédé
d'examen radiologique d'un objet, ^{multi-énergie} ~~comprenant un~~
~~étalonnage des propriétés d'atténuation du rayonnement.~~

10 Les procédés radiologiques consistent à
faire traverser un objet à étudier par un rayonnement
pour en déduire la répartition de différentes
catégories de matériaux, absorbant le rayonnement de
façons différentes, dans cet objet. Une application
très courante est l'ostéodensitométrie, où on recherche
15 la masse et la densité des tissus osseux dans un
patient en distinguant ces tissus des tissus mous.

Il est usuel d'utiliser un spectre de
rayonnement large et à le diviser en bandes mesurées
séparément par des canaux de mesure respectifs. Comme
20 les coefficients d'absorption ou d'atténuation du
rayonnement par l'une ou l'autre des catégories de
tissu sont différents pour chacune des bandes, le
problème théorique se ramène à la solution d'un système
d'équations dont le nombre est égal à celui des bandes
25 de mesure et qui comprennent chacune deux inconnues
(les épaisseurs ou les masses traversées de tissus ^{mous} et osseux). La solution du problème devient possible après
une calibration obtenue en faisant traverser par le
rayonnement divers étalons dotés d'épaisseurs connues
30 de matériaux aux propriétés d'absorption analogues à
celles des matériaux de mesure, et notamment le

PROCEDE D'EXAMEN RADIOLOGIQUE D'UN OBJET
DESCRIPTION

Cette invention concerne un procédé
5 d'examen radiologique multi-énergie d'un objet.

Les procédés radiologiques consistent à
faire traverser un objet à étudier par un rayonnement
pour en déduire la répartition de différentes
catégories de matériaux, absorbant le rayonnement de
10 façons différentes, dans cet objet. Une application
très courante est l'ostéodensitométrie, où on recherche
la masse et la densité des tissus osseux dans un
patient en distinguant ces tissus des tissus mous.

Il est usuel d'utiliser un spectre de
15 rayonnement large et à le diviser en bandes mesurées
séparément par des canaux de mesure respectifs. Comme
les coefficients d'absorption ou d'atténuation du
rayonnement par l'une ou l'autre des catégories de
tissu sont différents pour chacune des bandes, le
20 problème théorique se ramène à la solution d'un système
d'équations dont le nombre est égal à celui des bandes
de mesure et qui comprennent chacune deux inconnues
(les épaisseurs ou les masses traversées de tissus mous
et osseux). La solution du problème devient possible
25 après une calibration obtenue en faisant traverser par
le rayonnement divers étalons dotés d'épaisseurs
connues de matériaux aux propriétés d'absorption
analogues à celles des matériaux de mesure, et
notamment le plexiglas et l'hydroxyapatite pour simuler
30 les tissus mous et les tissus osseux. On peut alors,
calculer les paramètres mathématiques d'un modèle

plexiglas et l'hydroxyapatite pour simuler les tissus mous et les tissus osseux. ~~L'inversion d'un système paramétrique mathématiques d'un modèle reliant la mesure d'équation analogue à celui qu'on a évoqué, et dans d'atténuation aux épaisseurs de matériaux, lequel les inconnues sont cette fois les coefficients~~ *On peut alors calculer les*

5 ~~d'absorption des matériaux, permet de calculer ceux-ci et de les appliquer à ce système d'équations précédent.~~

On notera qu'en réalité le corps humain contient trois catégories principales de tissus : les tissus osseux, les tissus maigres et les tissus gras, 10 mais qu'on n'en considère que deux en général à cause de difficultés à distinguer ces trois catégories dans les mesures, de sorte qu'on confond volontairement les tissus maigres et gras. D'autres procédés sont ensuite appliqués pour distinguer leurs proportions dans les 15 tissus mous.

La largeur du spectre permet de disposer d'un nombre beaucoup plus grand de bandes de mesures qu'il ne serait nécessaire, *pour obtenir une solution* et de les employer toutes pour obtenir des résultats *plus précis* supplémentaires en 20 exploitant toute l'information d'absorption obtenue. Dans l'article "Measurement of bone mineral using a multiple-energy x-ray absorptiometry", par J. Swanpalmer, R. Kullenberg, T. Hansson, Phys.Med.Biol, Vol 43, 1997:pp 379-387, où on dispose de 23 bandes de 25 mesures et où on considère les trois catégories de tissus, il est proposé de combiner les groupes de mesures trois par trois de toutes les façons possibles pour obtenir 1771 (23x22x21/2x3) systèmes de trois 30 équations à trois inconnues qui donnent autant de groupes de résultats. Il convient alors d'appliquer un critère de choix. Les auteurs conseillent de choisir

reliant les mesures d'atténuation aux épaisseurs des matériaux.

On notera qu'en réalité le corps humain contient trois catégories principales de tissus : les
5 tissus osseux, les tissus maigres et les tissus gras, mais qu'on n'en considère que deux en général à cause de difficultés à distinguer ces trois catégories dans les mesures, de sorte qu'on confond volontairement les
10 tissus maigres et gras. D'autres procédés sont ensuite appliqués pour distinguer leurs proportions dans les
tissus mous.

La largeur du spectre permet de disposer d'un nombre beaucoup plus grand de bandes de mesures qu'il ne serait nécessaire pour obtenir une solution,
15 et de les employer toutes pour obtenir des résultats plus précis en exploitant toute l'information d'absorption obtenue. Dans l'article "Measurement of
bone mineral using a multiple-energy x-ray absorptiometry", par J. Swanpalmer, R. Kullenberg, T.
20 Hansson, Phys.Med.Biol, Vol 43, 1997:pp 379-387, où on dispose de 23 bandes de mesures et où on considère les trois catégories de tissus, il est proposé de combiner les groupes de mesures trois par trois de toutes les
façons possibles pour obtenir 1771 $(23 \times 22 \times 21 / 2 \times 3)$
25 systèmes de trois équations à trois inconnues qui donnent autant de groupes de résultats. Il convient alors d'appliquer un critère de choix. Les auteurs conseillent de choisir comme résultat véridique celui qui est à la valeur moyenne, ou à la valeur médiane,
30 pour le paramètre le plus important, qui peut être la masse osseuse traversée.

comme résultat véridique celui qui est à la valeur moyenne, ou à la valeur médiane, pour le paramètre le plus important, qui peut être la masse osseuse traversée.

5 Contrairement à ce qu'on a conseillé plus haut, les auteurs considèrent les trois catégories de tissus. Cela ne met pas en question la validité de leur méthode, à condition d'exposer le patient à une intensité d'irradiation beaucoup plus forte pour
10 ramener les incertitudes des mesures à des proportions acceptables. Il serait d'ailleurs possible de modifier simplement leur méthode pour l'appliquer à des mesures sur deux tissus, ou plus généralement deux catégories de matériaux, seulement. Toutefois, il subsiste le
15 défaut que cette méthode ne tient pas compte du bruit sur les mesures et qu'elle conduit donc à des résultats bruités, ~~et il apparaît que beaucoup de groupes de mesures sont peu différents, de sorte que leur combinaison ne produit pas de solution précise aux~~
20 ~~systèmes d'équations où ils sont associés et qu'une grande partie des calculs de combinaison est donc sujette à caution.~~

L'invention a pour objet un perfectionnement de tels procédés par combinaison de
25 résultats nombreux et comprend une amélioration du critère de choix des résultats. Plus précisément, elle concerne sous sa forme la plus générale un procédé d'examen radiologique d'un objet où sont considérées
ou moins
deux catégories de matériaux, comprenant : l'emploi
30 d'un rayonnement à spectre large ; des mesures du rayonnement par bandes du spectre ; des expressions

Contrairement à ce qu'on a conseillé plus haut, les auteurs considèrent les trois catégories de tissus. Cela ne met pas en question la validité de leur méthode, à condition d'exposer le patient à une intensité d'irradiation beaucoup plus forte pour ramener les incertitudes des mesures à des proportions acceptables. Il serait d'ailleurs possible de modifier simplement leur méthode pour l'appliquer à des mesures sur deux tissus, ou plus généralement deux catégories de matériaux, seulement. Toutefois, il subsiste le défaut que cette méthode ne tient pas compte du bruit sur les mesures et qu'elle conduit donc à des résultats bruités.

L'invention a pour objet un perfectionnement de tels procédés par combinaison de résultats nombreux et comprend une amélioration du critère de choix des résultats. Plus précisément, elle concerne sous sa forme la plus générale un procédé d'examen radiologique d'un objet où sont considérées au moins deux catégories de matériaux, comprenant : l'emploi d'un rayonnement à spectre large ; des mesures du rayonnement par bandes du spectre ; des expressions (\hat{M}) d'épaisseurs ou de masses des deux catégories de matériaux traversées par le rayonnement, les expressions (\hat{M}) étant des fonctions d'au moins deux des mesures (mes_k) et de coefficient (A) ; et l'application d'un critère de choix parmi les expressions (\hat{M}) pour en déduire une expression (\hat{M}_{finale}) jugée véridique ; caractérisé en ce que le critère de choix comprend une combinaison (f) des expressions avec des facteurs de pondération (a), et un

(\tilde{M}) d'épaisseurs ou de masses des deux catégories de matériaux traversées par le rayonnement, les expressions (\tilde{M}) étant des fonctions d'au moins deux des mesures (mes_k) et de coefficient (A) ; et
5 l'application d'un critère de choix parmi les expressions (\tilde{M}) pour en déduire une expression (\tilde{M}_{finale}) jugée véridique ; caractérisé en ce que le critère de choix comprend une combinaison (f) des expressions avec des facteurs de pondération (a), et un
10 calcul de facteurs de pondération de manière que la combinaison ait une ^{bruit} ~~variation~~ ^(variance minimale) minimale d'après ~~des~~ ^{le} ~~variations~~ ^{bruits sur les} des mesures. ^(variances sur calculée la mesure)

↑ en langage mathématique

L'invention sera maintenant décrite en référence aux figures :

- 15 - la figure 1 est une vue d'un spectre,
- la figure 2 est une répartition de résultats,
- et la figure 3 est un organigramme résumant l'invention, auquel on pourra se reporter dans
20 toute la description qui suit.

L'atténuation du rayonnement peut être exprimée par une fonction des épaisseurs traversées de chacun des matériaux d'indices x et y , ou de leurs masses M (densités par unité de surface) dans la
25 direction du rayonnement. Le spectre de mesures de la figure 1 est divisé en N bandes notées généralement par les indices i et j . Les atténuations varieront dans chacune des bandes en raison de coefficients d'absorption variables pour les deux matériaux. Si nous
30 appelons mes_i ou mes_j les mesures pour une bande d'énergie i ou j , les masses traversées M_x et M_y

calcul de facteurs de pondération de manière que la combinaison ait un bruit minimal (variance minimale en langage mathématique) calculé d'après les bruits sur les mesures (variances sur les mesures).

5 L'invention sera maintenant décrite en référence aux figures :

- la figure 1 est une vue d'un spectre,
- la figure 2 est une répartition de résultats,
- 10 - et la figure 3 est un organigramme résumant l'invention, auquel on pourra se reporter dans toute la description qui suit.

L'atténuation du rayonnement peut être exprimée par une fonction des épaisseurs traversées de chacun des matériaux d'indices x et y , ou de leurs masses M (densités par unité de surface) dans la direction du rayonnement. Le spectre de mesures de la figure 1 est divisé en N bandes notées généralement par les indices i et j . Les atténuations varieront dans chacune des bandes en raison de coefficients d'absorption variables pour les deux matériaux. Si nous appelons mes_i ou mes_j les mesures pour une bande d'énergie i ou j , les masses traversées M_x et M_y pourront chacune être exprimées aussi, par exemple, par

25 la formule générale

$$\hat{M} = A_1 + A_2 \cdot mes_i + A_3 \cdot mes_j + A_4 \cdot mes_i^2 + A_5 \cdot mes_j^2 + A_6 \cdot mes_i \cdot mes_j$$
 les mesures considérées dans cet exemple étant des mesures d'atténuation, on aura pour chaque canal de mesure i (correspondant à une bande du spectre) la relation mes_i

30 $= \ln \left(\frac{noi}{ni} \right)$ où noi est le nombre de photons arrivant sur l'objet et ni celui des photons ayant traversé l'objet.

* Par exemple, pour l'analyse d'objets constitués de matériaux ayant des numéros atomiques plus élevés que ceux de tissus biologiques, ~~comme~~ ^{par exemple} / ~~pour~~ le contrôle non destructif pour l'examen d'un objet métallique.

pourront chacune être exprimées aussi, par exemple, par la formule générale

$$\hat{M} = A_1 + A_2 \cdot \text{mes}_1 + A_3 \cdot \text{mes}_2 + A_4 \cdot \text{mes}_1^2 + A_5 \cdot \text{mes}_2^2 + A_6 \cdot \text{mes}_1 \cdot \text{mes}_2 \dots$$

Comme la non-linéarité des fonctions M_x et M_y en fonction des mesures est faible en pratique, on peut s'accommoder de cette fonction polynomiale du deuxième degré qui comprend six coefficients A_1 à A_6 .

Le degré du polynôme peut être ajusté en fonction du problème.

Ces coefficients peuvent être trouvés dans

une étape d'étalonnage à travers des étalons, appelés parfois fantômes ou cales dans l'art, et qui consistent en des pièces formées d'épaisseurs connues et différentes entre elles de matériaux simulant, par leurs propriétés d'atténuation, les matériaux de l'objet qui sera effectivement à mesurer. Chacun des étalons est donc soumis à une irradiation par le rayonnement pendant une longue durée qui permet de réduire l'influence du bruit sur les mesures. Le spectre mesuré pour chacun des étalons donne encore N mesures résultant de la décomposition du spectre en autant de bandes. En combinant maintenant deux séries de mesures i et j prises pour deux bandes et pour chacun des étalons, on recherche les coefficients A pour ajuster les fonctions M_x et M_y aux mesures. Dans le cas présent, où il y a six coefficients A pour chacune des deux fonctions, et où on considère les combinaisons de deux bandes de mesure, les mesures pour chacune des bandes devront, pour fournir une solution unique, porter sur six étalons. Des étalons plus nombreux pourront aussi être utilisés pour améliorer la précision sur la solution. Une minimisation de fonction d'erreur sera alors appliquée.

arrivant à l'objet et n° le nombre de photons traversant l'objet.

* Les mesures considérées dans cet exemple étant des mesures d'atténuation, on aura pour chaque canal de mesure i

B 14155.3/JCI (Correspondant à une bande du spectre) la relation $\text{mes}_i = \ln(m_0/m_i)$ où m_0 est le nombre de photons

Comme la non-linéarité des fonctions M_x et M_y en fonction des mesures est faible en pratique, on peut s'accommoder de cette fonction polynomiale du deuxième degré qui comprend six coefficients A_1 à A_6 . Le degré du polynôme peut être ajusté en fonction du problème ; Par exemple, pour l'analyse d'objets constitués de matériaux ayant des numéros atomiques plus élevés que celui des tissus biologiques, comme le contrôle non destructif pour l'examen d'un objet métallique. les mesures considérées dans cet exemple étant des mesures d'atténuation, on aura pour chaque canal de mesure i (correspondant à une bande du spectre) la relation $mes_i = \ln (n_{oi}/n_i)$ où n_{oi} est le nombre de photons arrivant sur l'objet et n_i celui des photons ayant traversé l'objet.

Ces coefficients peuvent être trouvés dans une étape d'étalonnage à travers des étalons, appelés parfois fantômes ou cales dans l'art, et qui consistent en des pièces formées d'épaisseurs connues et différentes entre elles de matériaux simulant, par leurs propriétés d'atténuation, les matériaux de l'objet qui sera effectivement à mesurer. Chacun des étalons est donc soumis à une irradiation par le rayonnement pendant une longue durée qui permet de réduire l'influence du bruit sur les mesures. Le spectre mesuré pour chacun des étalons donne encore N mesures résultant de la décomposition du spectre en autant de bandes. En combinant maintenant deux séries de mesures i et j prises pour deux bandes et pour chacun des étalons, on recherche les coefficients A pour ajuster les fonctions M_x et M_y aux mesures. Dans le cas présent, où il y a six coefficients A pour chacune

Cette détermination des coefficients A est répétée pour diverses combinaisons de paires de mesures. Il en était encore ainsi dans l'article antérieur mentionné plus haut ; cependant, on a constaté qu'il était inutile d'effectuer toutes les combinaisons, au nombre de $\frac{N \times (N-1)}{2}$, pour exploiter complètement les mesures et que (N-1) combinaison étaient en réalité suffisantes pour recueillir toute l'information.

Une façon préférée de procéder consiste à choisir au départ la bande de mesures qui est la moins bruitée (par exemple celle qui a le signal le plus important) et à l'associer successivement à chacune des autres bandes de mesures pour les combinaisons. On obtient finalement (N-1) estimations des deux fonctions M_x et M_y , qu'on note $\hat{M}_1, \hat{M}_2, \dots, \hat{M}_{N-1}$ pour chacune de ces deux fonctions.

Handwritten notes:
~~A fonction de photons le +~~
~~le plus grand~~
~~des absorption~~
 n = le nombre de photons réception =

A ce stade du procédé, les fonctions M_x et M_y , représentatives des longueurs traversées de deux matériaux représentatifs des tissus osseux et des tissus mous, pourront être converties en fonction M_u , M_v et M_w représentatives des longueurs équivalentes traversées des tissus osseux, des tissus maigres et des tissus gras en combinant linéairement M_x et M_y de trois façons différentes déterminées par l'expérience. Ce procédé de conversion est indépendant de l'invention, déjà connu dans l'art. ~~et ne s'applique d'ailleurs qu'à l'étude d'organismes vivants.~~

Comme il n'y a pas de raison de préférer l'une ou l'autre de ces estimations \hat{M} , un critère de

des deux fonctions, et où on considère les combinaisons de deux bandes de mesure, les mesures pour chacune des bandes devront, pour fournir une solution unique, porter sur six étalons. Des étalons plus nombreux
5 pourront aussi être utilisés pour améliorer la précision sur la solution. Une minimisation de fonction d'erreur sera alors appliquée.

Cette détermination des coefficients A est répétée pour diverses combinaisons de paires de
10 mesures. Il en était encore ainsi dans l'article antérieur mentionné plus haut ; cependant, on a constaté qu'il était inutile d'effectuer toutes les combinaisons, au nombre de $\frac{Nx(N-1)}{2}$, pour exploiter complètement les mesures et que (N-1) combinaison
15 étaient en réalité suffisantes pour recueillir toute l'information.

Une façon préférée de procéder consiste à choisir au départ la bande de mesures qui est la moins bruitée (par exemple celle qui a le signal n - le
20 nombre de photons à la réception- le plus important) et à l'associer successivement à chacune des autres bandes de mesures pour les combinaisons. On obtient finalement (N-1) estimations des deux fonctions M_x et M_y , qu'on note $\hat{M}_1, \hat{M}_2, \dots, \hat{M}_{N-1}$ pour chacune de ces deux fonctions.

25 A ce stade du procédé, les fonctions M_x et M_y , représentatives des longueurs traversées de deux matériaux représentatifs des tissus osseux et des tissus mous, pourront être converties en fonction M_u , M_v et M_w représentatives des longueurs équivalentes
30 traversées des tissus osseux, des tissus maigres et des

choix doit être appliqué pour obtenir l'estimation \hat{M} finale qui sera jugée véridique. Dans l'article antérieur, une des expressions obtenues était directement sélectionnée d'après un critère de classement (le résultat médian) ou de moyenne des valeurs prises par les expressions pour un des résultats. Dans l'invention, les expressions \hat{M} seront combinées, par exemple linéairement, d'après la formule \hat{M} finale = (a1 \hat{M} 1)+(a2 \hat{M} 2)+...+ (a N-1 \hat{M} N -1) tout en minimisant le bruit ; les coefficients a₁, etc. ont une somme égale à l'unité (a₁ + a₂ + ... + a N-1 = 1).

Pour chaque canal de mesure, le bruit ^{sur le nombre de photons} suit une loi statistique de Poisson, dont le résultat est indépendant pour chacun des canaux. La matrice de covariance des N-1 résultats peut être exprimée d'après

la formule
$$\Gamma_{ij} = \sum_{k=1}^{N-1} \frac{\partial \hat{M}_i}{\partial mes_k} \frac{\partial \hat{M}_j}{\partial mes_k} \frac{1}{N_k}$$

La variance sur la combinaison linéaire donnant \hat{M} finale s'exprime par la formule $f = (a_1, \dots, a_{N-1}) \cdot \Gamma \cdot (a_1, \dots, a_{N-1})$; cette quantité f atteint une valeur optimale quand sa dérivée selon toutes les variables est nulle, c'est-à-dire que l'influence du bruit est

minimisée, soit :

$$\begin{cases} \partial f / \partial a_1 = 0 \\ \partial f / \partial a_2 = 0 \\ \dots \\ \partial f / \partial a_{N-1} = 0 \end{cases}$$

La résolution numérique de ce système fournit les coefficients a₁, a₂, etc et \hat{M} finale,

tissus gras en combinant linéairement M_x et M_y de trois façons différentes déterminées par l'expérience. Ce procédé de conversion est indépendant de l'invention, déjà connu dans l'art.

5 Comme il n'y a pas de raison de préférer l'une ou l'autre de ces estimations \hat{M} , un critère de choix doit être appliqué pour obtenir l'estimation \hat{M} finale qui sera jugée véridique. Dans l'article antérieur, une des expressions obtenues était
 10 directement sélectionnée d'après un critère de classement (le résultat médian) ou de moyenne des valeurs prises par les expressions pour un des résultats. Dans l'invention, les expressions \hat{M} seront combinées, par exemple linéairement, d'après la formule
 15 $\hat{M}_{\text{finale}} = (a_1 \hat{M}_1) + (a_2 \hat{M}_2) + \dots + (a_{N-1} \hat{M}_{N-1})$ tout en minimisant le bruit ; les coefficients a_1 , etc. ont une somme égale à l'unité ($a_1 + a_2 + \dots + a_{N-1} = 1$).

Pour chaque canal de mesure, le bruit sur le nombre de photons suit une loi statistique de
 20 Poisson, dont le résultat est indépendant pour chacun des canaux. La matrice de covariance des $N-1$ résultats peut être exprimée d'après la formule

$$\Gamma_{ij} = \sum_{k=1}^{N-1} \frac{\partial \hat{M}_i}{\partial \text{mes}_k} \frac{\partial \hat{M}_j}{\partial \text{mes}_k} \frac{1}{N_k}.$$

La variance sur la combinaison linéaire
 25 donnant \hat{M}_{finale} s'exprime par la formule $f = (a_1, \dots, a_{N-1}) \cdot \Gamma \cdot (a_1, \dots, a_{N-1})$; cette quantité f atteint une valeur optimale quand sa dérivée selon toutes les variables

c'est-à-dire les masses traversées des deux catégories de matériaux.

Ce sont ces opérations qui sont accomplies dans l'invention ; il est important de remarquer que
5 les mesures (mes_k) employées dans la formule donnant Γ_v et ensuite sont les mesures effectuées à travers l'objet à étudier lui-même, mais pas celles qui ont été faites à l'étalonnage pour déterminer les coefficients A des fonctions \hat{M} .

10 L'invention permet d'échapper au dilemme de procédés antérieurs dans lesquels on renonçait à une partie des énergies de mesure ou au contraire on acceptait des mesures peu distinctes : elle utilise en effet tout le spectre, mais le divisant en bandes assez
15 nombreuses pour que la mesure de chacune puisse être comparée de façon utile à d'autres mesures, faites sur des bandes éloignées. Elle permet ainsi, entre autres avantages, d'étudier aussi bien des organismes maigres que gras.

20 Enfin, l'invention peut être généralisée à un nombre de matériaux plus grand que deux, ce qui peut être intéressant notamment pour les procédés d'imagerie à produit de contraste, où trois variables doivent être considérées ^{ou pour le contrôle de bagages (recherche d'explosifs)} et elle peut être appliquée en

25 considérant des combinaisons autres que linéaires des fonctions \hat{M} , ~~par exemple en appliquant le procédé ACP (Analyse du composant Principal) connu dans l'art et mentionné par exemple dans l'article de Maitrejean, Périou et Sundermann et intitulé "Non destructive~~
30 ~~chemical identification using an X-ray transmission function obtained with the multi-energy method", Free.~~

est nulle, c'est-à-dire que l'influence du bruit est

$$\text{minimisée, soit : } \begin{cases} \partial f / \partial a_1 = 0 \\ \partial f / \partial a_2 = 0 \\ \dots \\ \partial f / \partial a_{N-1} = 0 \end{cases}$$

La résolution numérique de ce système
5 fournit les coefficients a_1 , a_2 , etc et \hat{M} finale,
c'est-à-dire les masses traversées des deux catégories
de matériaux.

Ce sont ces opérations qui sont accomplies
dans l'invention ; il est important de remarquer que
10 les mesures (mes_k) employées dans la formule donnant Γ_{ij}
et ensuite sont les mesures effectuées à travers
l'objet à étudier lui-même, mais pas celles qui ont été
faites à l'étalonnage pour déterminer les coefficients
A des fonctions \hat{M} .

15 L'invention permet d'échapper au dilemme de
procédés antérieurs dans lesquels on renonçait à une
partie des énergies de mesure ou au contraire on
acceptait des mesures peu distinctes : elle utilise en
effet tout le spectre, mais en le divisant en bandes
20 assez nombreuses pour que la mesure de chacune puisse
être comparée de façon utile à d'autres mesures, faites
sur des bandes éloignées. Elle permet ainsi, entre
autres avantages, d'étudier aussi bien des organismes
maigres que gras.

25 Enfin, l'invention peut être généralisée à
un nombre de matériaux plus grand que deux, ce qui peut
être intéressant notamment pour les procédés d'imagerie
à produit de contraste, où trois variables doivent être

~~SPIE vol. 3446, p. 134-152, Hard X-ray and gamma-ray detector physics and applications, édité par F. Patrick Doty et Richard B. Hoover.~~

Des Applications de l'invention sont :

l'ostéodensitométrie

la
mesure de la densité osseuse

- obtention de la densité de masse osseuse
et/ou - obtention de la composition corporelle
(masse grasse, masse maigre)

le contrôle agro-alimentaire, par simple la
détecteur de fragments d'os dans de la viande
ou la détection de morceaux de veines dans des plats
cuisinés,

le contrôle des bagages : recherche d'explosifs, de produits
illégaux (armes, aliments, drogue ...)

considérées ou pour contrôle des bagages (recherche d'explosifs) ; et elle peut être appliquée en considérant des combinaisons autres que linéaires des fonctions \hat{M} .

5 Des application de l'invention sont :

. l'ostéodensitométrie

- obtention de la densité de masse osseuse

10 - obtention de la composition corporelle (masse grasse, masse maigre)

. le contrôle agro-alimentaire, par exemple la détection de fragments d'os dans de la viande ou la détection de morceaux de verres dans des plats
15 cuisinés,

. le contrôle des bagages : recherche d'explosifs, de produits illicites (armes, aliments, drogue...)

REVENDEICATIONS

1) Procédé d'examen radiologique d'un objet
 où sont considérées ^{au moins} deux catégories de matériaux,
 5 comprenant : l'emploi d'un rayonnement à spectre
 large ; des mesures du rayonnement par bandes du
 spectre ; des expressions (\hat{M}) d'épaisseurs ou de
 masses des deux catégories de matériaux traversées par
 le rayonnement, les expressions (\hat{M}) étant des
 10 fonctions d'au moins deux des mesures (mes_k) et de
 coefficients (A) ; et l'application d'un critère de
 choix parmi les expressions (\hat{M}) pour en déduire une
 expression (\hat{M}_{finale}) jugée véridique ; caractérisé en
 ce que le critère de choix comprend une combinaison (f)
 15 des expressions avec des facteurs de pondération (a),
 et un calcul des facteurs de pondération de manière que
 la combinaison ait ^{un bruit} ~~une variation~~ minimale ^{calculée} d'après des ~~le~~ ^{bruit sur les}
~~variations des~~ mesures.

2) Procédé selon la revendication 1,
 20 caractérisé en ce que la combinaison (f) des
 expressions est linéaire. ^{l'une quelconque des}

3) Procédé selon ~~les~~ ^{l'une} revendications 2,
 caractérisé en ce que la variation de la combinaison
 est calculée avec une matrice de covariance (Γ_y) des
 25 expressions (\hat{M}).

4) Procédé selon l'une quelconque des
 revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les
 expressions (\hat{M}) sont en nombre égal à celui des
 bandes, moins un, et établies toujours avec une des

REVENDEICATIONS

1) Procédé d'examen radiologique d'un objet où sont considérées au moins deux catégories de matériaux, comprenant : l'emploi d'un rayonnement à spectre large ; des mesures du rayonnement par bandes du spectre ; des expressions (\hat{M}) d'épaisseurs ou de masses des deux catégories de matériaux traversées par le rayonnement, les expressions (\hat{M}) étant des fonctions d'au moins deux des mesures (mes_k) et de coefficients (A) ; et l'application d'un critère de choix parmi les expressions (\hat{M}) pour en déduire une expression (\hat{M}_{finale}) jugée véridique ; caractérisé en ce que le critère de choix comprend une combinaison (f) des expressions avec des facteurs de pondération (a), et un calcul des facteurs de pondération de manière que la combinaison ait un bruit minimal calculé d'après un bruit sur les mesures.

2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la combinaison (f) des expressions est linéaire.

3) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la variation de la combinaison est calculée avec une matrice de covariance (Γ_{ij}) des expressions (\hat{M}).

4) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les expressions (\hat{M}) sont en nombre égal à celui des bandes, moins un, et établies toujours avec une des

bandes (io) et, respectivement, chacune des autres bandes.

5) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les coefficients (A) sont déterminés à une étape préalable de calibration.

6) Procédé selon l'une quelconque des revendications précitées, caractérisé en ce qu'il est appliqué à l'ostéodensitométrie.

7) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est appliqué à des entités agro-alimentaires.

8) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est appliqué au contrôle de laages.

bandes (io) et, respectivement, chacune des autres bandes.

5) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les coefficients (A) sont déterminés à une étape préalable de calibration.

6) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est appliqué à l'ostéodensitométrie.

10 7) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est appliqué à des contrôles agro-alimentaires.

15 8) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est appliqué au contrôle de bagages.

1 / 2

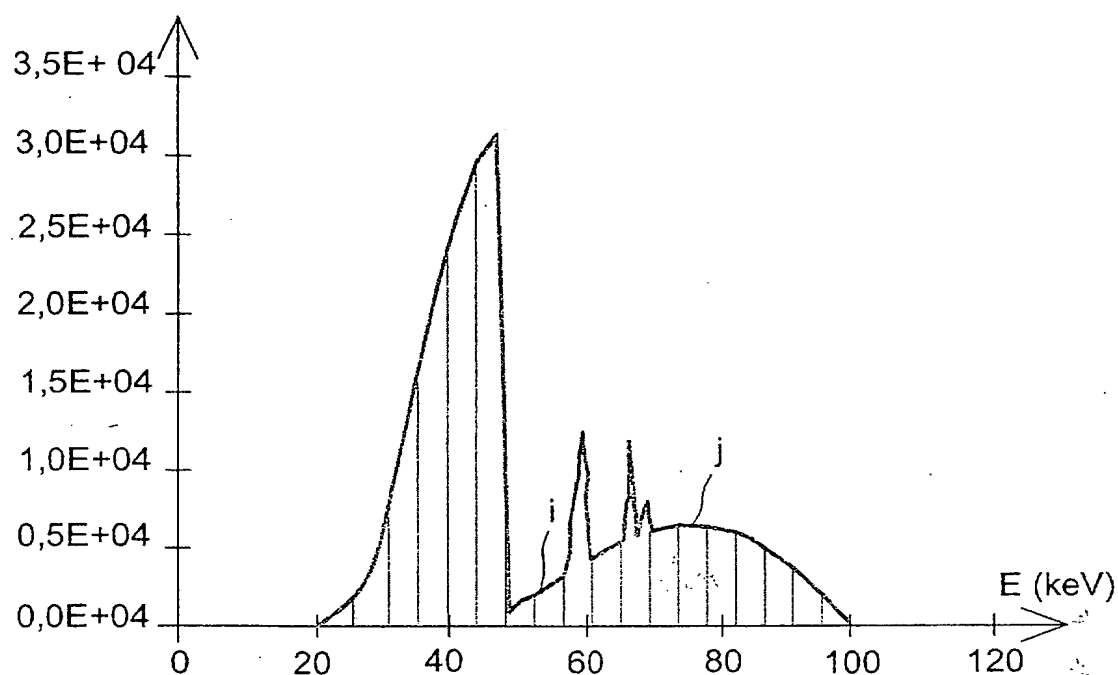


FIG. 1

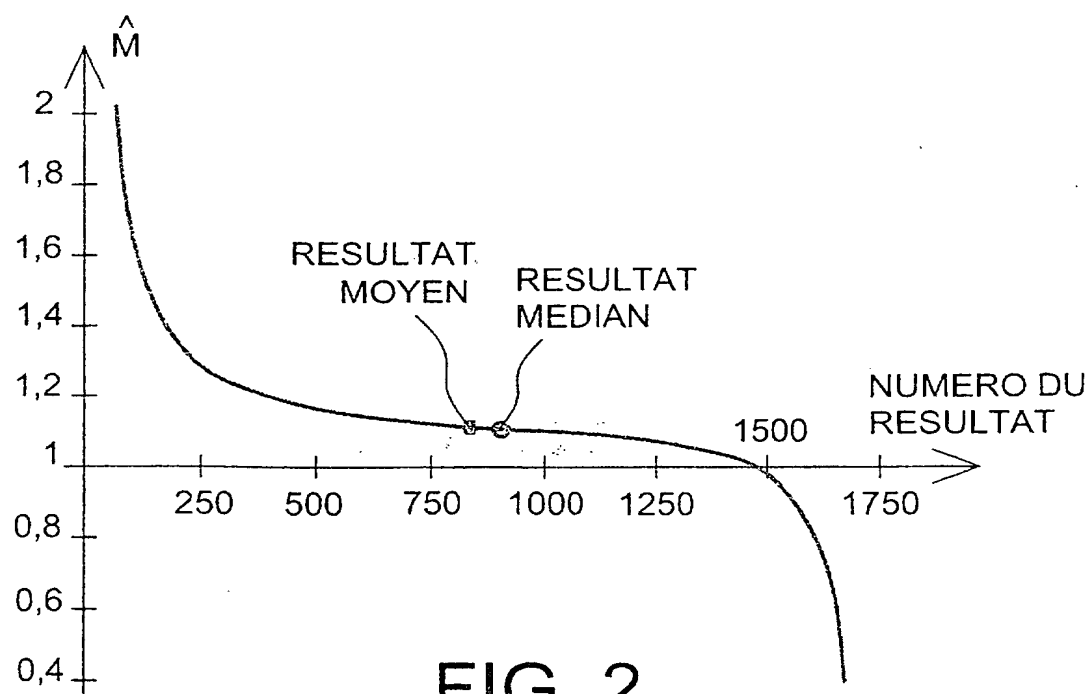


FIG. 2



1 / 2

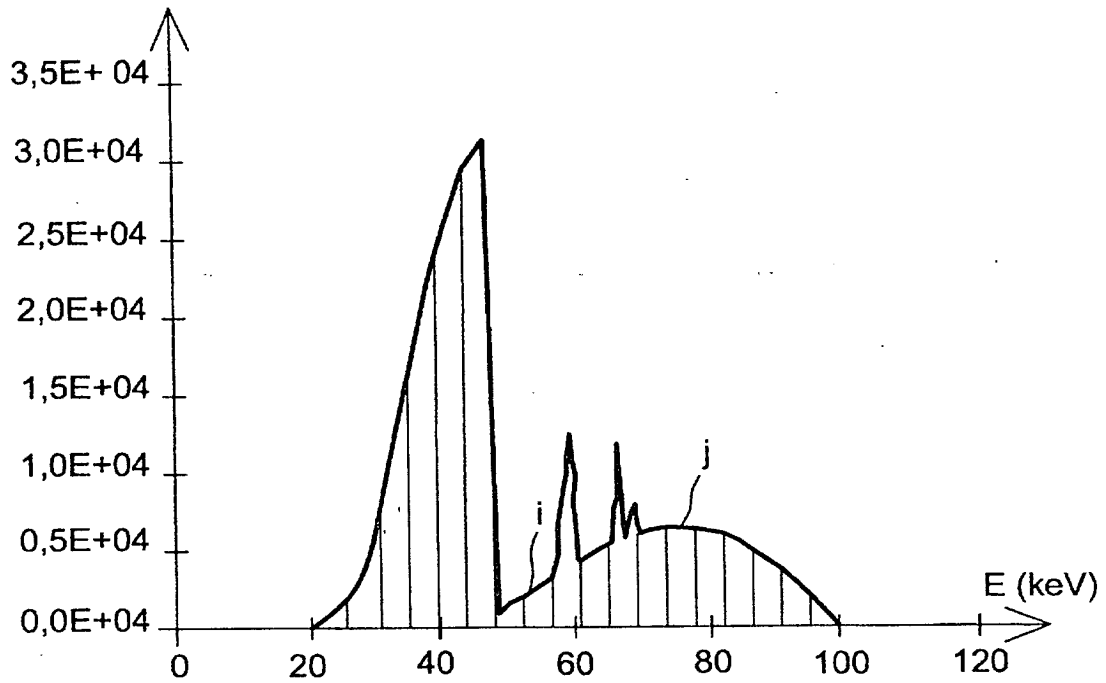


FIG. 1

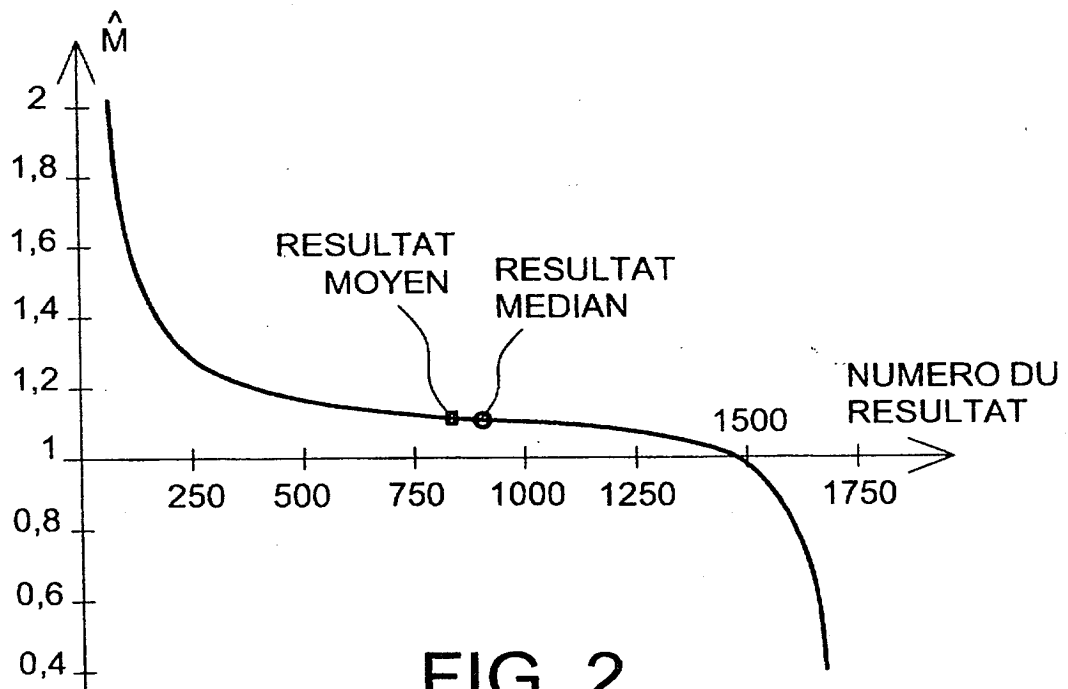


FIG. 2

2 / 2

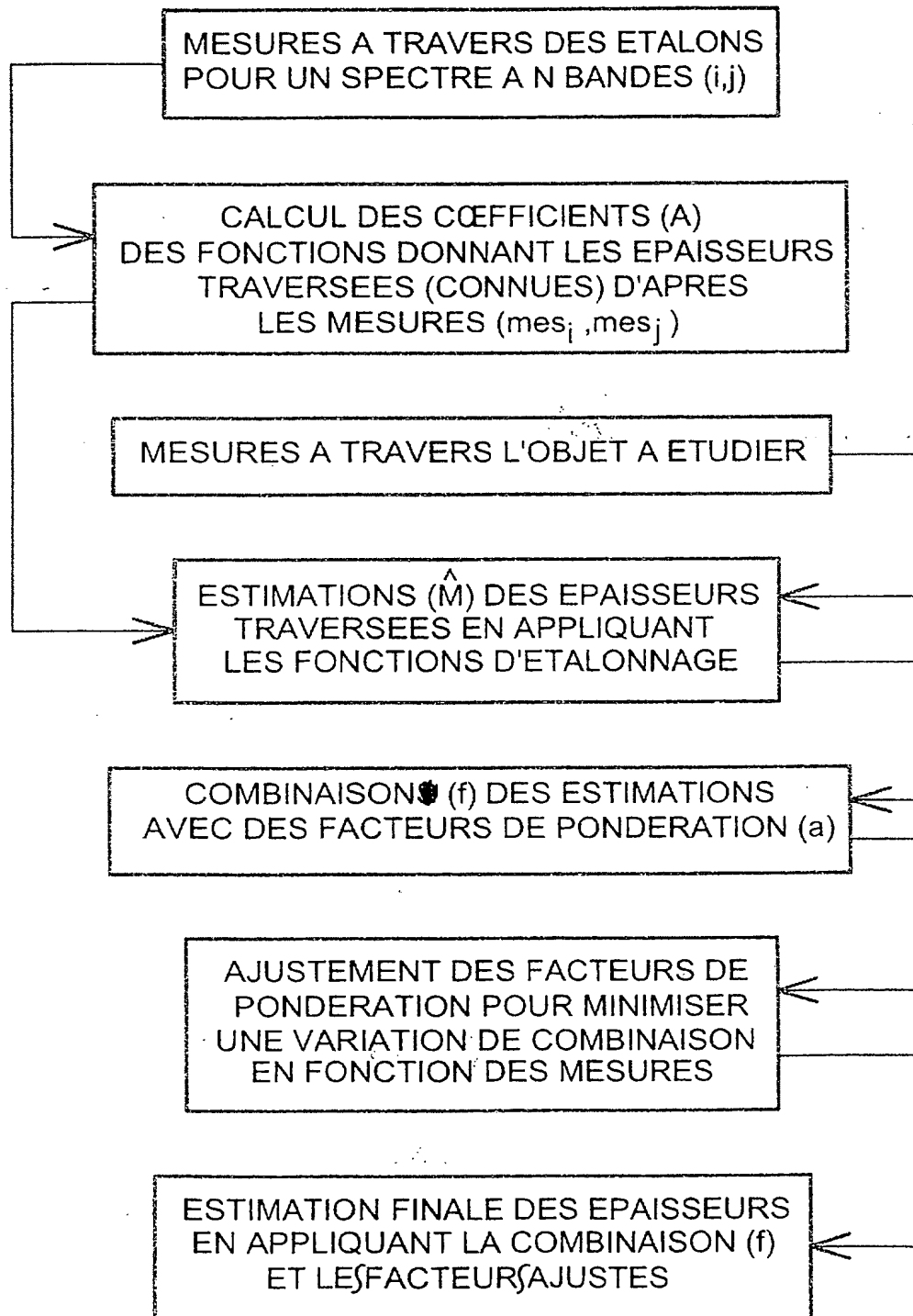


FIG. 3

2 / 2

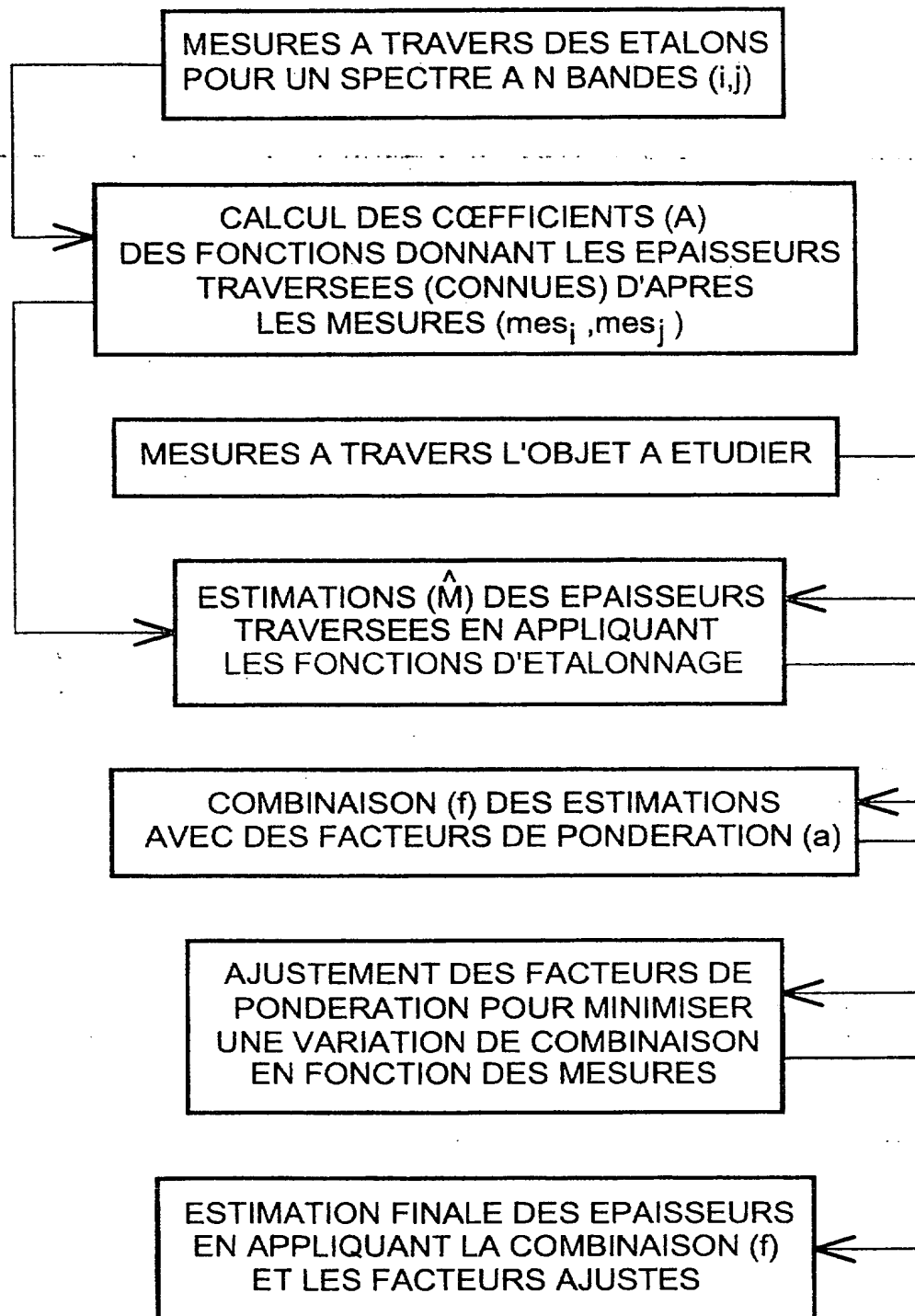


FIG. 3



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION**CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11 235*02

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

V s références pour ce dossier (facultatif)		B 14155.3/JCI	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02.08513 du 05.07.2002	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE D'EXAMEN RADIOLOGIQUE MULTI-ENERGIE D'UN OBJET.			
LE(S) DEMANDEUR(S) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31/33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		HERVE	
Prénoms		Lionel	
Adresse	Rue	20 avenue du Général Champon	
	Code postal et ville	38100	GRENOBLE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		ROBERT-COUTANT	
Prénoms		Christine	
Adresse	Rue	109 impasse de Luiset	
	Code postal et ville	38410	SAINT- MARTIN -D'URIAGE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (N m et qualit' du signatair) PARIS LE 10 Septembre 2002 J. LEHU 422-5/002			



63

1

1